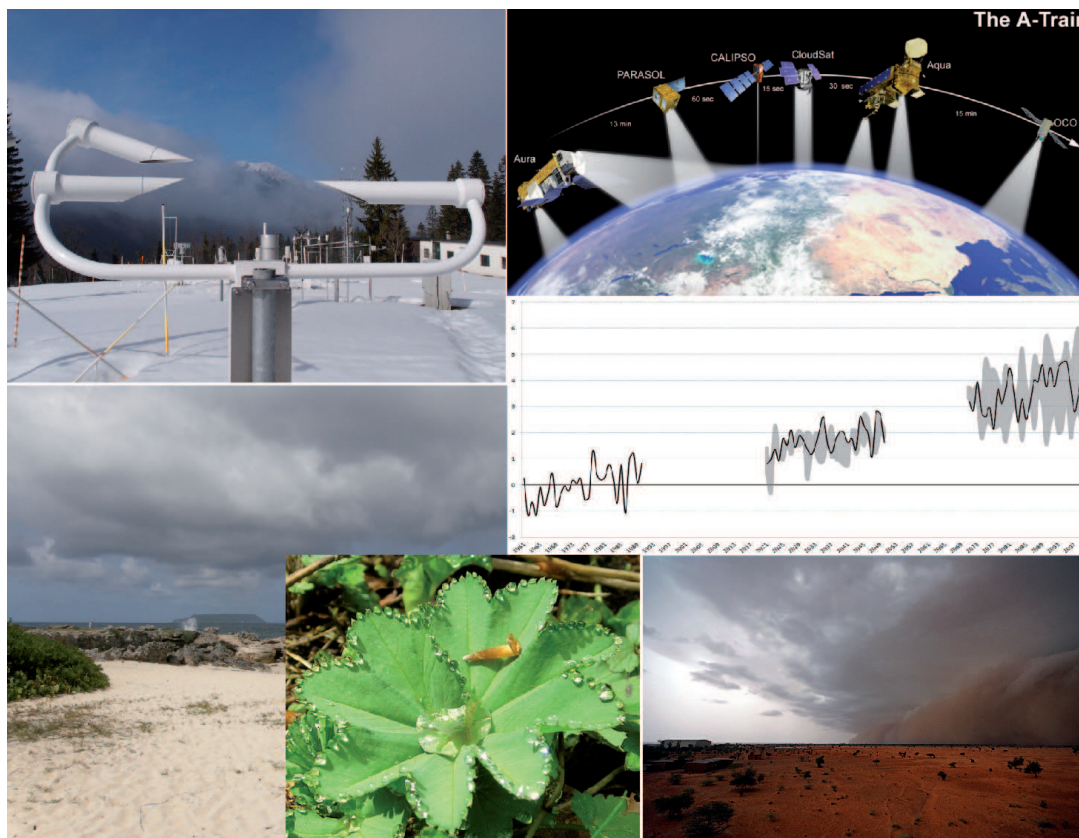


Les climats régionaux : observation et modélisation



*Actes du colloque organisé à Grenoble
du mercredi 5 au samedi 8 septembre 2012*

Editeurs scientifiques
Sylvain BIGOT & Sandra ROME

Colloque organisé par le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement
(LTHE, UMR 5564 UJF-CNRS-IRD), Université Joseph Fourier (Grenoble 1)
Domaine Universitaire - BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France

ÉVOLUTION DU COMPORTEMENT DU VENT ET DE SON POTENTIEL POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE DURANT LES 30 DERNIÈRES ANNÉES : LE CAS DE LA BELGIQUE

Sébastien DOUTRELOUP, Xavier FETTWEIS et Michel ERPICUM

Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie, B11, Allée du 6 août, 2, 4000 Liège, Belgique
s.doutreloup@ulg.ac.be , xavier.fettweis@ulg.ac.be , michel.erpicum@ulg.ac.be

Résumé : Chaque année, le nombre d'éoliennes dans le monde augmente de façon significative suite notamment aux politiques encourageant les productions d'énergie verte afin d'atténuer le réchauffement climatique. Toutefois, ce type d'énergie est tributaire de la météo. Cela implique que la production d'énergie éolienne est irrégulière à courte échelle de temps. Cependant, la disponibilité d'électricité de courtes périodes de temps est très importante à connaître pour les producteurs d'énergie ainsi que pour les gestionnaires de réseaux. Pour ces raisons, il nous paraît primordial d'analyser l'évolution de l'intermittence de la vitesse du vent sur les 30 dernières années (1979-2009). Pour ce faire nous utilisons le modèle WRF forcé par les réanalyses ERA-Interim, les réanalyses NCEP2 et certains modèles du GIEC (base de données CMIP5).

Mots-clés : Énergie électrique éolienne, modèles WRF avec ERA-Interim NCEP2, CMIP5 models, Belgique.

Abstract: Evolution of wind behaviour and its potential for wind energy production in Belgium during the last 30 years.

Each year, the number of wind turbines is increasing significantly due to the policy encouraging green energy production to mitigate the effects of climate change. However, this kind of energy depends on the weather. This implies that wind power is irregular minute-based. Nevertheless, the availability of electricity over a short period of time is very important for energy producers as well as for electrical network managers. For these reasons, it is important to analyze the evolution of the intermittency of wind speed over the last 30 years (1979-2009). For this, we use the WRF model forced by ERA-Interim reanalysis, the NCEP2 reanalysis and some IPCC models (CMIP5 database).

Keywords: Wind power energy, model WRF with ERA-Interim NCEP2, CMIP5 models, Belgium.

Introduction

La croissance excessive de la consommation des ressources fossiles qui, d'une part influence significativement le climat (IPCC, 2007) et, d'autre part épuise plus rapidement leurs réserves, conduit à recourir de plus en plus à l'utilisation d'énergies renouvelables et notamment à l'énergie électrique d'origine éolienne (CCE, 2009). Cependant, la production d'électricité d'origine éolienne est, par nature, intermittente, comme on peut le constater sur la figure 1. Ce comportement aléatoire associé à la météo est problématique pour les fournisseurs d'électricité comme pour les gestionnaires de réseaux électriques. Les premiers doivent connaître la production électrique qu'ils produiront le lendemain afin d'anticiper les prix de l'électricité sur le marché et les seconds doivent assurer de manière permanente l'équilibre production/consommation sur les réseaux électriques.

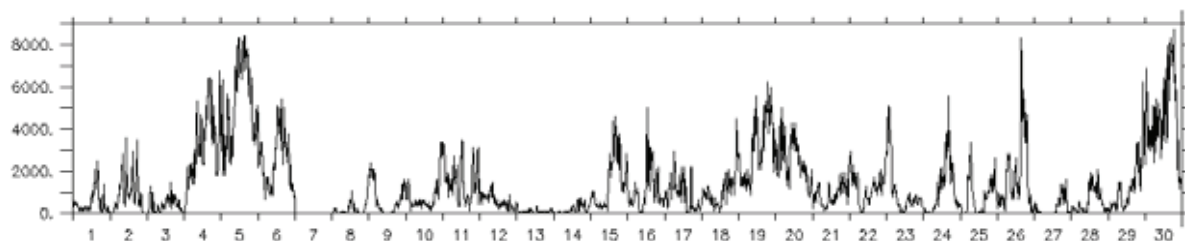


Figure 1 : Exemple de la production électrique (en kW) du parc éolien d'Amel durant le mois d'avril 2009.

Pour ces raisons, il nous paraît primordial d'analyser l'évolution de l'intermittence de la vitesse du vent, d'abord pour les 30 dernières années (1979-2009), ensuite pour les années futures grâce aux modèles climatiques du GIEC (base de données CMIP5). Pour ce faire, nous utilisons deux modèles : le modèle WRF (Skamarock *et al.*, 2008) forcé par les réanalyses ERA-Interim (Dee, 2011) et le modèle WRF forcé par les réanalyses NCEP2 (Kanamitsu *et al.*, 2002). Les résultats de ces modèles et leurs comparaisons donneront une estimation de l'évolution du comportement du vent en Belgique durant les 30 dernières années. Par la suite, nous calculerons le modèle WRF forcé par le modèle de circulation générale CNRM-CM5 (Taylor *et al.*, 2012) selon son scénario « historical » afin de vérifier s'il simule correctement le climat récent. En cas de résultats positifs, nous l'utiliserons pour simuler le climat futur selon les différents scénarios du GIEC.

1. Description des modèles utilisés

Depuis 2008, le Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie de l'ULg utilise le modèle régional WRF à des fins de prévision de production éolienne à la demande d'un fournisseur d'électricité verte. Le modèle régional WRF est un modèle développé par différents organismes américains, dont principalement le National Center for Atmospheric Research (NCAR), et il a l'avantage d'être distribué sous licence OpenSource, ce qui permet à une large communauté d'utilisateurs de l'améliorer constamment. Le modèle régional WRF est un modèle similaire à un modèle météorologique global (type réanalyses) à la différence qu'il possède une meilleure résolution spatio-temporelle, ce qui lui permet de mieux simuler les effets liés à la topographie. Sa physique interne résout le climat à une échelle plus fine qu'un modèle global.

Spécifiquement, le modèle régional est forcé aux frontières de sa grille par le modèle global qui est disponible toutes les 6 h, mais le forçage effectif est calculé par interpolation linéaire entre les données toutes les 6 h selon le pas de temps de la grille utilisée. Il simulera alors sa propre réponse atmosphérique, en fonction des schémas physiques choisis, des configurations temporelle et spatiale choisies et des données atmosphériques forcées mais également en fonction de la topographie, et de l'affection du sol.

Le modèle WRF peut aussi bien faire de la prévision météorologique en temps réel (Doutreloup, 2011) que des études climatologiques régionales et c'est de cette dernière manière que nous l'utilisons dans le cadre de cette recherche. Le modèle travaille sur 2 grilles l'une à la résolution de 50 km/5 min (grille mère), l'autre à la résolution 10 km/1 min (grille fille). C'est cette dernière grille que nous utilisons, notons également que l'atmosphère dans cette grille est divisée en 28 niveaux verticaux dont 11 sous le premier kilomètre.

Tout d'abord, nous forçons le modèle WRF avec le modèle de réanalyses ERA-Interim, fourni par l'European Centre for Medium-range Weather Forecast (ECMWF). Ce modèle reproduit le climat récent. Il est disponible aux résolutions spatiales de 1,5° et temporelle de 6 h. Ensuite, nous forçons le modèle WRF avec le modèle de réanalyses NCEP2, fourni par le NCAR, et qui reproduit également le climat récent. Il est disponible aux résolutions spatiales de 2,5° et temporelle de 6 h.

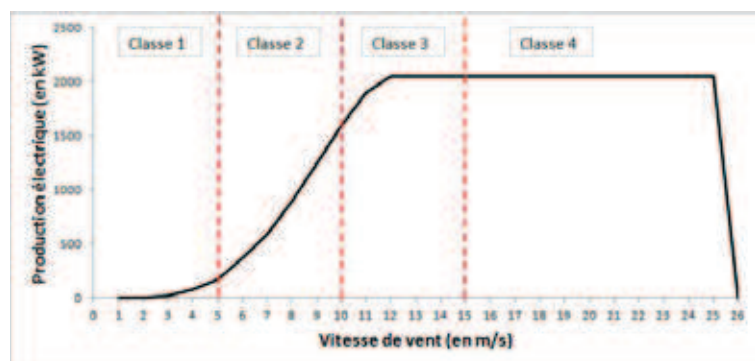
Finalement, nous forçons le modèle WRF avec le modèle CNRM-CM5 selon son scénario « historical » qui représente le climat actuel. Contrairement aux deux modèles de réanalyses précédents qui intègrent les observations météorologiques (stations météorologiques, bouées marines, sondages atmosphériques, images satellites et radars, etc), le modèle CNRM-CM5 selon le scénario « historical » n'est aucunement forcé par les observations météorologiques mais bien par des forçages globaux tels que le taux de CO₂ dans l'atmosphère, la modification du rayonnement solaire ou l'activité volcanique.

2. Méthodologie

Cette analyse porte uniquement sur la période s'étalant de 1979 à 2009 pour la comparaison entre les modèles de réanalyses et de 1979 à 2005 pour la comparaison des réanalyses avec le modèle CNRM-CM5. La zone d'analyse est centrée sur le territoire belge. Nous analysons uniquement la vitesse du vent à 100 m d'altitude. Les niveaux verticaux dans le modèle WRF sont représentés par des coordonnées sigma, la hauteur de ces coordonnées sigma variant avec la masse d'air en présence. Afin d'utiliser la vitesse de vent strictement à 100 m, nous interpolons linéairement la vitesse du vent entre les deux niveaux sigma les plus proches de 100 m.

Nous formons 4 classes de vent : la première classe qui comprend les vitesses de vent inférieures à 5 m/s, la deuxième qui contient les vitesses de vent comprises entre 5 m/s et 9 m/s, la troisième englobe les vitesses de vent comprises entre 10 m/s et 14 m/s, et la quatrième qui rassemble les vitesses de vent supérieures à 15 m/s. Ces 4 classes ont une signification précise au niveau de la production d'énergie éolienne (figure 2). En effet, comme on peut le voir sur cette figure, la puissance produite par l'éolienne est liée à la vitesse du vent. La première classe correspond à une production électrique quasi nulle. La deuxième correspond à une production d'électricité très fortement liée à la vitesse du vent, donc très fluctuante et ainsi pas très intéressante pour les producteurs comme pour les gestionnaires de réseaux électriques. La troisième classe correspond aux vitesses de vent optimales pour l'énergie éolienne. En effet, c'est dans cette catégorie de vitesses de vent que les éoliennes produisent le maximum d'électricité avec le moins d'efforts mécaniques et donc le moins d'usures. La dernière classe correspond aux vitesses de vent pour lesquelles les éoliennes produisent leur maximum d'électricité mais avec un certain nombre de contraintes mécaniques. Cette catégorie est donc intéressante pour la production électrique mais beaucoup moins intéressante en ce qui concerne l'usure mécanique des turbines.

Figure 2 : Exemple d'une courbe de puissance d'une éolienne de 2 MW.



La moyenne, l'occurrence relative et l'évolution de ces deux paramètres sur la période étudiée sont calculées pour chacune des 4 classes de vitesse de vent et pour chaque point de grille. La persistance de chacune des classes de vitesses de vent est également analysée par point de grille. Cette persistance correspond au nombre de pas de temps consécutifs pendant lesquels une même classe de vitesse de vent est observée. Elle caractérise donc le comportement du vent. Un vent de vitesse constante soufflant pendant une longue période sera plus rentable vis-à-vis de la production d'électricité qu'une vitesse de vent qui fluctue sans cesse car chaque turbine possède son inertie mécanique interne qui ne permet pas une adaptation directe aux fluctuations de la vitesse du vent. Il est donc primordial d'étudier l'évolution temporelle des persistances des classes de vitesse de vent. L'unité de représentation de cette persistance est exprimée selon le pas de temps interne au modèle, et elle correspond à 1 minute.

3. Résultats et discussions

La figure 3 représente successivement selon les lignes la moyenne et la tendance de la vitesse du vent sur les 30 dernières années, l'occurrence de la classe de vitesses de vent optimales pour l'énergie éolienne, c'est-à-dire celle qui contient les vitesses de vent supérieures à 10 m/s et inférieures à 15 m/s et sa tendance et enfin la persistance de cette même classe de vent et sa tendance. Chacune des 3 colonnes de la figure 3 représente les résultats des 3 modèles que nous étudions.

Premièrement, l'analyse de la vitesse moyenne du vent montre que les trois modèles indiquent sur la terre une vitesse moyenne similaire, soit ~ 7 m/s tandis que sur mer les 3 modèles divergent quelque peu ; WRF-ERA-Interim indique la vitesse de vent la plus faible et WRF-NCEP2 indique la vitesse de vent la plus élevée, WRF-CNRM se trouvant dans le cas intermédiaire. L'évolution de cette vitesse moyenne du vent est négligeable pour chacun des modèles, le test de Snedecor nous le confirme.

Deuxièmement, l'analyse de l'occurrence de la classe de vitesse de vent optimale indique que les trois modèles s'accordent à affirmer que l'occurrence du vent terrestre est de ~ 15 %. En revanche, sur la mer les résultats sont sensiblement différents ; le modèle WRF-ERA-Interim et le modèle WRF-CNRM indiquent une occurrence de cette classe optimale pour l'énergie éolienne de 20 %, le modèle WRF-NCEP2, quant à lui, indique une occurrence de l'ordre de 30 %. Les zones terrestres et maritimes sont définies en sélectionnant un ensemble représentatif d'un même nombre de points de grille respectivement sur la Belgique et sur la mer du Nord. Les évolutions de ces occurrences au cours de ces 30 dernières années ne sont pas significatives. En effet, d'une part, la tendance sur la période étudiée est largement inférieure à l'écart-type, et d'autre part, le test de Snedecor indique clairement une non-significativité de cette tendance. Les autres classes de vitesses de vent indiquent des résultats similaires.

Troisièmement, la persistance de la classe de vitesse de vents optimale pour l'énergie éolienne dans les modèles WRF-ERA-Interim et WRF-CNRM est semblable, soit une persistance de ~ 35 mn sur terre et de ~ 50 mn sur mer. En d'autres termes, un vent dont la vitesse est comprise entre 10 m/s et 15 m/s soufflera de manière continue dans cette classe de vitesse pendant 35 mn sur terre et 50 mn au large en moyenne sur l'analyse des 30 dernières années. Le modèle WRF-NCEP2 quant à lui indique une persistance de l'ordre de 40 mn sur terre et de 60 mn sur mer. L'évolution de cette persistance est globalement à la baisse pour les 3 modèles, hormis pour le modèle WRF-ERA-Interim sur la mer du Nord et du modèle WRF-NCEP2 sur la région du Luxembourg qui indiquent une légère hausse. Néanmoins, le test de Snedecor indique une non-significativité pour l'ensemble de ces tendances.

Quatrièmement, la comparaison entre modèles présente des différences notables entre les modèles WRF-ERA-Interim et WRF-NCEP2 qui sont forcés par les modèles de réanalyses. Tout d'abord, le modèle WRF-NCEP2 montre une vitesse moyenne de vent plus élevée que le modèle WRF-ERA-Interim. Ensuite WRF-NCEP2 montre également davantage d'occurrence et de persistance pour la classe de vitesse de vent optimale pour l'énergie éolienne. Quant aux tendances de chaque paramètre, les trois modèles indiquent une diminution générale de la vitesse du vent et une diminution de l'occurrence et de la persistance de la classe de vent optimale pour l'énergie éolienne. Néanmoins, toutes ces tendances sont non significatives. Notons enfin que le modèle WRF-CNRM est globalement en accord avec le modèle ERA-Interim ; ceci pourrait confirmer que le modèle CNRM-CM5 représente de manière satisfaisante le climat récent et qu'il pourrait ainsi nous servir à projeter le climat futur selon les différents scénarios disponibles. Toutefois, il convient de valider avec des observations les

sorties du modèle WRF-ERA-Interim avant de confirmer ou d'infirmer la capacité de WRF-CNRM à simuler le climat présent.

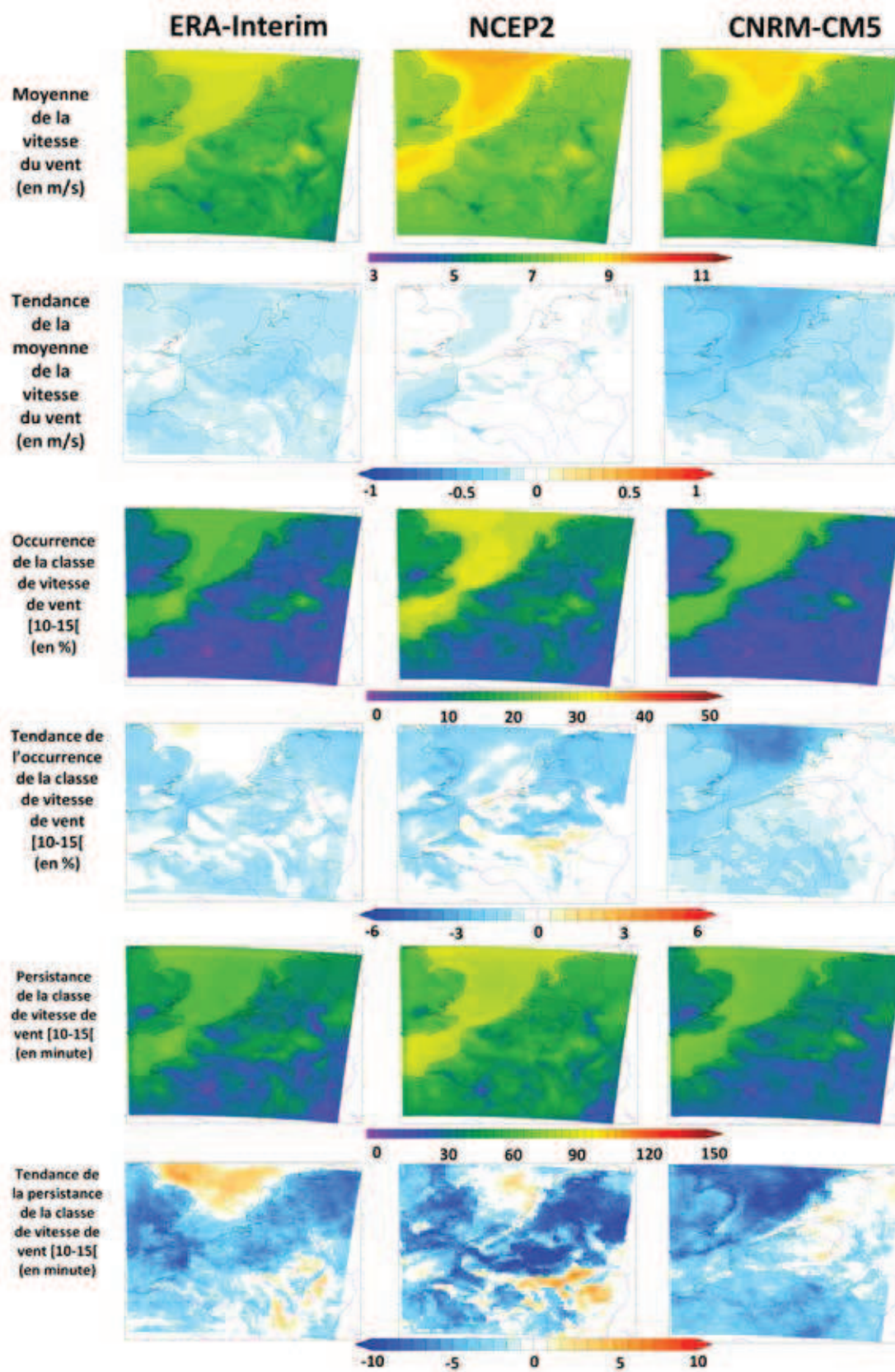


Figure 3 : Synthèse des résultats de l'analyse menée de 1979 à 2009. Les paramètres étudiés et leurs tendances sont exprimés ligne après ligne. Chaque colonne correspond à un modèle de forçage imposé au modèle WRF.

Conclusions et perspectives

Globalement, on observe une diminution de la vitesse moyenne du vent sur les 30 dernières années, ainsi qu'une diminution de l'occurrence et de la persistance de la classe de vitesse de vent optimale pour l'énergie éolienne. Cependant, ces tendances sont non-significatives selon le test de Snedecor. Nous pouvons ainsi conclure que la vitesse du vent et son comportement n'ont donc pas évolué significativement sur la période étudiée, ce qui est rassurant du point de vue des productions d'électricité d'origine éolienne car le potentiel éolien n'aurait donc pas diminué.

Les modèles WRF-ERA-Interim et WRF-NCEP2 livrent des résultats assez différents. Ce dernier montre une vitesse moyenne du vent ainsi qu'une occurrence et une persistance de la classe de vitesse de vent optimale pour l'énergie éolienne plus élevée que le modèle WRF-ERA-Interim. Des analyses complémentaires doivent être menées afin de déterminer lequel des deux modèles représente au mieux les conditions climatiques réelles. Pour cela, nous devons comparer les modèles WRF-ERA-Interim et WRF-NCEP2 avec des données d'observations.

Le modèle WRF-CNRM offre des résultats très semblables à ceux du modèle WRF-ERA-Interim. Étant donné que ce modèle représente correctement le climat récent, nous pouvons considérer qu'il sera apte à simuler le climat futur selon les différents scénarios définis par le GIEC.

Dans un avenir proche, nous allons prospecter d'autres modèles que le modèle CNRM-CM5, afin de vérifier la manière dont ils parviennent à simuler le climat récent avant de les utiliser dans nos simulations du climat futur.

Références bibliographiques

CCE, 2009 : *Promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE*, Directive 2009/28/CE du parlement européen et du conseil.

Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M. A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A. C. M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A. J., Haimberger L., Healy S. B., Hersbach H., Hólm E. V., Isaksen I., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A. P., Monge-Sanz B. M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N. and Vitart, F., 2011 : *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597. doi: 10.1002/qj.828

Doutreloup S., 2011 : *Influences de l'environnement d'un parc éolien sur la prévision de sa production électrique à l'aide des modèles GFS (50km/3h) et WRF (4km/15min) : Le cas du parc éolien d'Amel (Haute Belgique)*. Actes du XXIV^{ème} Colloque International AIC : Climat Montagnard et Risques, Fazzini & Beltrando Eds., 209-214.

IPCC, 2007 : *Climate Change 2007 : Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S-K, Hnilo J.J., Fiorino M., and Potter G. L., 2002 : *NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)*. *Bul. of the Atmos. Met. Soc.*, 1631-1643, doi:10.1175/BAMS-83-11-1631.

Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G., 2008 : *A Description of the Advanced Research WRF Version 3*. NCAR Tech Notes NCAR/TN-475+STR, 113p.

Taylor K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl, 2012 : An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1